Vérification des lois du rayonnement avec le cube de *Leslie*

Objectifs expérimentaux

- Mesure relative de l'intensité du rayonnement des différentes surfaces du cube en fonction de leur température avec une pile thermoélectrique de *Moll*
- Représentation graphique de la relation entre l'intensité du rayonnement et la température absolue pour les différentes surfaces du cube
- Vérification de la loi du rayonnement de *Kirchhoff*
- Identification des différentes surfaces du cube en tant que «cube gris» pour la vérification de la loi de *Stefan-Boltzmann* dans la gamme de température mesurée

Principes de base

Tous les corps émettent un rayonnement calorifique. L'intensité de ce rayonnement électromagnétique à excitation thermique dépend de la nature de la surface du corps et augmente au fur et à mesure que la température de celui-ci augmente.

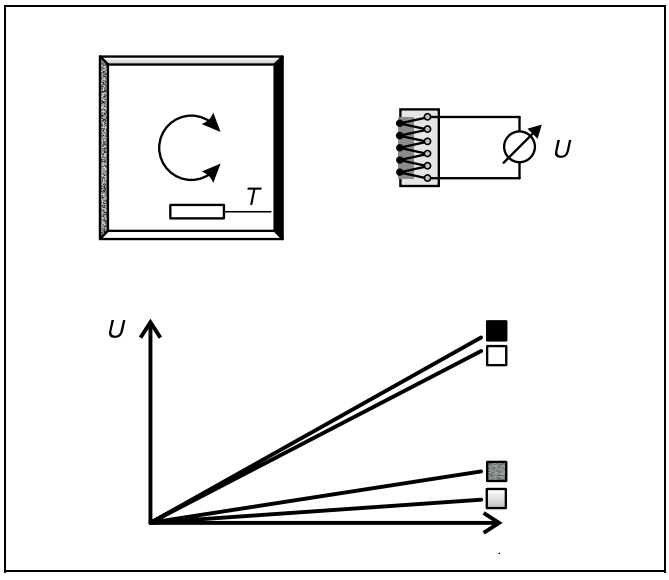
Du reste, le corps absorbe un rayonnement électromagnétique. La quantité de rayonnement émis qui est absorbée dépend elle aussi de la nature de la surface. Selon *Kirchhoff,* le rayonnement émis par un corps correspond, pour une température bien définie, à l'énergie rayonnante qu'il est susceptible d'absorber. Plus exactement, on a

$$\varepsilon = \alpha \qquad \text{(I)}$$

avec le degré d'émission ε défini comme étant le rapport

$$\varepsilon = \frac{M}{M_B} \qquad \text{(II)}$$

(M: radiation spécifique du corps,
M_B*:* radiation spécifique d'un corps noir)



et le degré d'absorption α comme étant le rapport

$$\alpha = \frac{\Phi}{\Phi_0} \qquad \text{(III)}$$

(Φ: énergie rayonnée absorbée par le corps
Φ_0: énergie rayonnée totale qui incide sur le corps.)

On caractérise de corps noir un corps qui absorbe toutes les radiations électromagnétiques qu'il reçoit. A une température donnée, son degré d'absorption est maximal et donc aussi son degré d'émission. Tous les autres corps absorbent moins de radiations et en émettent donc moins que le corps noir.

La loi de *Stefan-Boltzmann* dit que la radiation spécifique M_B d'un corps noir est donnée par

$$M_B = \sigma \cdot T^4 \qquad \text{(IV)}$$

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$: constante de *Stefan-Boltzmann)*

Le rayonnement d'un corps noir n'est pas réparti uniformément sur toutes les longueurs d'onde mais il a une distribution spectrale caractéristique. Pour des corps dits corps gris, la distribution spectrale correspond à celle d'un corps noir si ce n'est que les corps gris ont néammoins un degré d'émission ε plus faible et donc aussi un degré d'absorption α. Leur radiation spécifique dépend également de la quatrième puissance de la température absolue *T,* c.-à-d. qu'on a

$$M = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \qquad \text{(V)}.$$

Le corps absorbe en même temps le rayonnement de l'environnement. Par conséquent, il n'est pas mesuré la totalité de la puissance rayonnée *M* mais la puissance *M' prélevée* du corps par rayonnement. De la puissance irradiée de l'environnement, il absorbe la part

$$M_0 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_0^4 \qquad \text{(VI)}$$

D'où

$$M' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_0^4) \qquad \text{(VII)}$$

Si sa température corresponte à la température ambiante T_0 on a alors $M' = 0$.

Matériel

1 cube de Leslie	389 26
1 agitateur pour cube de Leslie	389 28
1 support pour four électrique	555 84
1 thermomètre numérique	666 190
1 sonde de température NiCr-Ni	666 193
1 pile thermoélectrique de Moll	557 36
1 microvoltmètre	532 13
1 petit banc d'optique	460 43
1 grand pied en V	300 01
3 noix Leybold	301 01
1 thermoplongeur de sécurité	303 25
1 bécher en plastique	590 06
1 entonnoir, ∅ 75 mm, plastique	665 009

En supplément:

1 chiffon absorbant, 1 carton sombre

Le cube de *Leslie* a quatre faces latérales avec des surfaces de nature différente et donc d'un degré d'émission différent. Une surface est métallique mate, une deuxième est métallique polie, une troisième est laquée blanc et la quatrième laquée noir.

Dans l'expérience, on commence par remplir le cube avec de l'eau très chaude. Le rayonnement calorifique qui se dégage des surfaces du cube est mesuré avec une pile thermoélectrique de *Moll* en fonction de la température en baisse. La pile thermoélectrique comprend plusieurs thermo-couples branchés en série. Ses points de mesure absorbent presque tout le rayonnement incident alors que ses points de référence restent à température ambiante. La tension de sortie de la pile thermoélectrique caractérise donc l'intensité du rayonnement M'.

Montage

Remarques:

L'intensité à mesurer est très faible et par conséquent la mesure très sensible aux influences environnantes perturbatrices:
ne toucher en aucun cas la pile thermoélectrique avec la main durant la mesure.
Ne pas évoluer à proximité de la pile thermoélectrique et surtout pas devant celle-ci.
Eviter les courants d'air et les variations de température ambiante pendant la mesure.
Eviter les rayonnements perturbateurs, protéger éventuellement avec du carton.
Si besoin est, assombrir la pièce.

Il peut survenir des rayonnements perturbateurs par:
l'irradiation directe de la chaleur du corps dans la pile thermoélectrique,
la réflexion de rayonnement sur des surfaces bien réfléchissantes (par ex. sur des vêtements de couleur clair),
des corps chauffants,
le soleil,
d'autres sources lumineuses.

Le montage expérimental est représenté à la fig. 1. Le cube de *Leslie* est sur le support pour four électrique pivotant, ceci permettant de facilement tourner chacune des faces du cube vers la pile thermoélectrique. La fig. 2 montre la fixation du support pour four électrique. Il suffit de légèrement desserrer la tige du support pour four électrique par le biais de la noix Leybold **(a)** pour faire tourner le support pour four électrique. La noix Leybold **(b)** empêche le support pour four électrique et le cube de s'affaisser.

Support pour four électrique et cube de Leslie:

- Monter le support pour four électrique et fixer la noix Leybold sur la tige du support ainsi que représenté à la fig. 2.
- Eventuellement nettoyer le cube de Leslie avec un chiffon humide et placer l'agitateur dans l'ouverture centrale de la face supérieure du cube.

Remarque: L'intensité du rayonnement calorifique diminue au fur et à mesure que l'éloignement augmente.

- Placer le cube de *Leslie* au milieu du support pour four électrique pour que, à la rotation du support, chacune des faces du cube soit à la même distance *s* de la pile thermoélectrique pendant la réalisation de l'expérience (voir fig. 1).
- Orienter la surface noire du cuve exactement perpendiculairement à la position ultérieure de la pile thermoélectrique puis fixer le support pour four électrique.

Instruments de mesure:

Remarques:

La fenêtre en verre de la pile thermoélectrique absorbe mieux un rayonnement à longues ondes qu'un rayonnement à ondes courtes et fausse donc systématiquement la mesure subordonnée à la température de l'intensité de rayonnement.
Il faut laisser chauffer le microvoltmètre pendant au moins 10 min avant de commencer l'expérience:
enclencher le microvoltmètre avec l'interrupteur secteur au dos de l'appareil.

- Monter la pile thermoélectrique conformément à la fig. 1 de façon à ce que la distance s entre la tige de la pile thermoélectrique et le cube de Leslie soit d'environ 10 cm; enlever la fenêtre en verre de la pile thermoélectrique.
- Contrôler chacune des distances entre la surface du cube et la pile thermoélectrique alors que la tige du support pour four électrique est bloquée.
- Brancher la pile thermoélectrique sur le microvoltmètre conformément à la fig. 1 (plage de mesure 10^{-4} V); relier pour cela la douille rouge de la pile thermoélectrique à la douille rouge du microvoltmètre.
- Compenser l'offset par activation de la touche «Auto Comp», éventuellement procéder à un réglage précis avec le potentiomètre pour amener l'affichage numérique à zéro (voir mode d'emploi du microvoltmètre).
- Brancher la sonde de température NiCr-Ni au thermomètre numérique et l'enclencher (plage de mesure <200 °C).

Réalisation

D'abord:

- Relever la tension sur le microvoltmètre et la température ambiante sur le thermomètre numérique et noter les valeurs.
- Remplir le bécher en plastique avec env. 0,9 l d'eau puis faire bouillir l'eau avec le thermoplongeur de sécurité.
- Verser de l'eau chaude dans le cube de *Leslie* à l'aide de l'entonnoir. Si besoin est, enlever l'eau renversée avec un chiffon absorbant.
- Enficher la sonde de température dans l'ouverture pour le remplissage du cube de *Leslie*.
- Enlever le thermoplongeur chaud et le bécher de mesure du domaine expérimental.

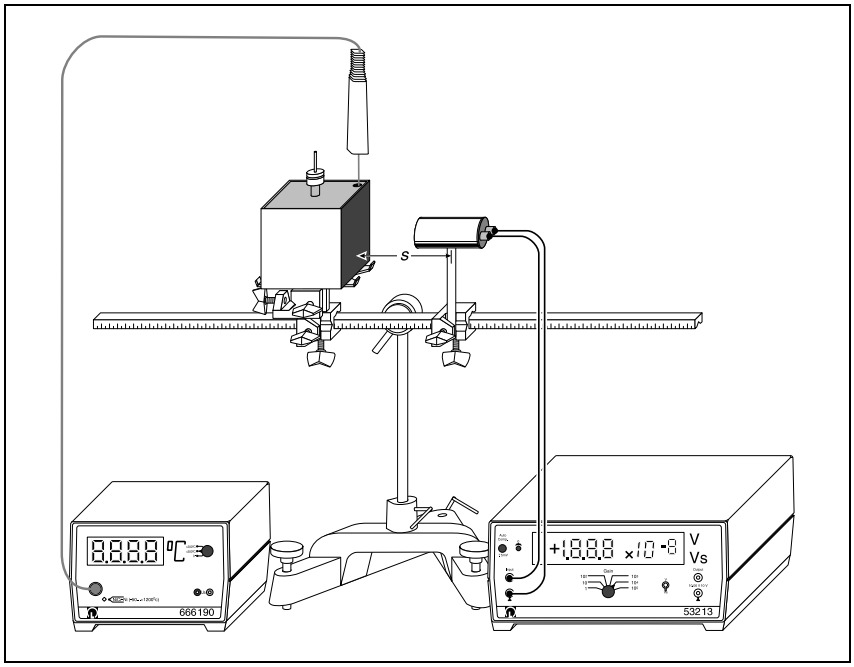


Fig. 1: Montage expérimental pour l'étude des lois du rayonnement.

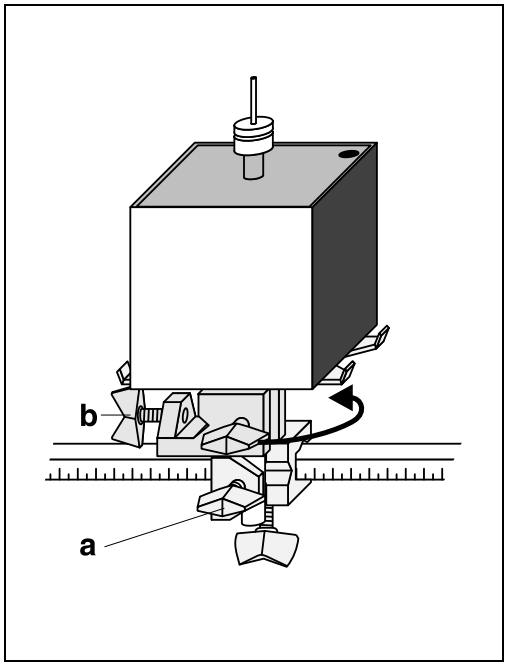


Fig. 2: Fixation du support pour four électrique pour l'obtention d'un système pivotant

Remarques:

Parce que cela dépend vraiment de l'équilibre de température dans le cube, il faut mélanger l'eau avant chaque mesure à l'aide de l'agitateur. Pour la mesure qui suit, amener la pointe de la sonde de température à la paroi intérieure de la face du cube orientée vers la pile thermoélectrique pour ainsi pouvoir définir sa température le plus exactement possible.

Il ne faut pas décentrer le cube sur son support en le faisant tourner et la face du cube qui doit être étudiée doit toujours être perpendiculaire à la direction du rayonnement.

Avant de relever les valeurs mesurées, respecter le temps de réglage de la pile thermoélectrique qui peut durer jusqu'à une minute.

Finalement:

- Mélanger l'eau avec l'agitateur. Ensuite, relever la tension thermoélectrique U et la température ϑ pour la face noire du cube (tenir pour cela la pointe de la sonde de température sur la paroi intérieure correspondante) et noter les valeurs.
- Légèrement desserrer la tige du support pour four électrique en ouvrant la noix Leybold **(a)**, tourner la face blanche vers la pile thermoélectrique et refixer le support pour four électrique.
- Mélanger l'eau avec l'agitateur. Ensuite, relever la tension thermoélectrique U et la température ϑ pour la face blanche du cube (tenir pour cela la pointe de la sonde de température sur la paroi intérieure correspondante) et noter les valeurs.
- Procéder de même pour la mesure avec les faces polie et mate.
- Recommencer les mesures après une baisse de température d'env. 5 °C.
- Pour une température de l'eau entre 40 °C et 50 °C, enlever la sonde de température du cube de *Leslie* et la sécher. Pour finir, mesurer la température ambiante et la noter.
- Protéger la pile thermoélectrique (par ex. avec un carton foncé), vérifier le zéro du microvoltmètre et le noter.

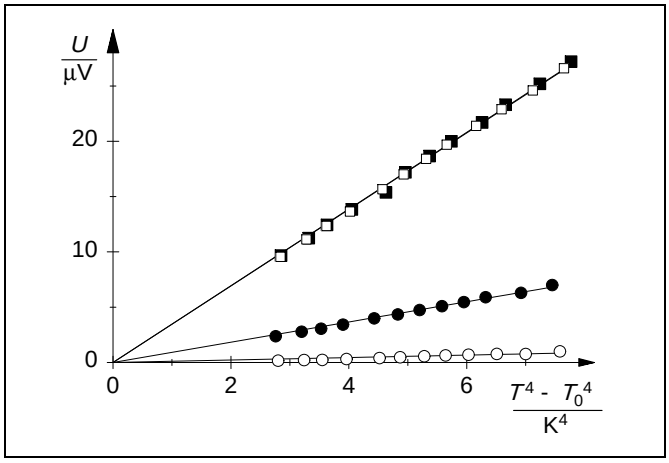
Exemple de mesure et exploitation

(voir tableau, page 4)

La fig. 3 montre les tensions de sortie U de la pile thermoélectrique en fonction de la quatrième puissance de la température absolue T pour chacune des faces du cube. Il y a une droite d'adaptée aux valeurs mesurées pour chacune des faces.

S'il a été constaté des écarts assez importants lors du contrôle du zéro du microvoltmètre ou de la température ambiante, il est possible de corriger les valeurs mesurées au moment de l'exploitation expérimentale.

Fig. 3: Représentation des tensions de sortie U en fonction de $T^4 - T_0^4$.
carrés noirs: face laquée noir
carrés blancs: face laquée blanc
cercles noirs: face métallique mate
cercles blancs: face métallique polie



Tab. 1: Valeurs mesurées

a) face laquée noir

$\frac{\vartheta}{°C}$	$\frac{T}{K}$	$\frac{T^4 - T_0^4}{K^4}$	$\frac{U}{\mu V}$
81,5	354,7	7,77	27,2
78,5	351,7	7,24	25,2
75,1	348,3	6,66	23,3
72,7	345,9	6,26	21,7
69,5	342,7	5,74	20,0
67,2	340,4	5,37	18,67
64,6	337,8	4,96	17,20
62,4	335,6	4,63	15,38
58,5	331,7	4,05	13,84
55,6	328,8	3,63	12,44
53,4	326,6	3,32	11,24
50,0	323,2	2,85	9,67

b) face laquée blanc

$\frac{\vartheta}{°C}$	$\frac{T}{K}$	$\frac{T^4 - T_0^4}{K^4}$	$\frac{U}{\mu V}$
80,8	354,0	7,65	26,6
77,8	51,0	7,12	24,6
74,7	347,9	6,59	22,9
72,1	345,3	6,16	21,4
69,0	342,2	5,66	19,7
66,8	340,0	5,31	18,42
64,4	337,6	4,93	17,00
62,0	335,2	4,57	15,66
58,3	331,5	4,02	13,65
55,5	328,7	3,62	12,34
53,1	326,3	3,28	11,13
49,9	323,1	2,84	9,55

c) face métallique polie

$\frac{\vartheta}{°C}$	$\frac{T}{K}$	$\frac{T^4 - T_0^4}{K^4}$	$\frac{U}{\mu V}$
80,4	353,6	7,58	1,00
77,1	350,3	7,00	0,76
74,2	347,4	6,51	0,77
71,3	344,5	6,03	0,70
68,9	342,1	5,64	0,64
66,6	339,8	5,28	0,56
64,0	337,2	4,87	0,47
61,7	334,9	4,52	0,40
57,9	331,1	3,96	0,31
55,0	328,2	3,55	0,23
52,8	326,0	3,24	0,22
49,6	322,8	2,80	0,16

d) face métallique mate

$\frac{\vartheta}{°C}$	$\frac{T}{K}$	$\frac{T^4 - T_0^4}{K^4}$	$\frac{U}{\mu V}$
79,7	352,9	7,45	7,00
76,6	349,8	6,92	6,29
73,1	346,3	6,32	5,90
70,8	344,0	5,95	5,46
68,5	341,7	5,58	5,09
66,1	339,3	5,20	4,74
63,7	336,9	4,83	4,34
61,1	334,3	4,43	3,99
57,5	330,7	3,90	3,42
54,9	328,1	3,53	3,05
52,5	325,7	3,20	2,78
49,3	322,5	2,76	2,37

Résultat

L'émission de chaleur par un corps est fonction de la nature et de l'état de sa surface.

La face métallique polie émet moins bien que la face mate. Cela correspond à la loi du rayonnement de *Kirchhoff* étant donné que la face polie absorbe moins aussi.

La face laquée noir et celle laquée blanc sont celles qui émettent le mieux. Bien que l'on présume divers degrés d'absorption, le pouvoir émissif se distingue ici à peine, même si cela semble être en contradiction avec la loi de *Kirchhoff*. Du reste, les notions de blanc et noir se réfèrent au domaine spectral visible, donc aux longueurs d'onde entre 400 et 700 nm. Par contre, le maximum d'intensité du rayonnement calorifique émis est situé dans un domaine de longueurs d'onde d'env. 7 μm, donc dans un domaine spectral complètement différent. Ici, le pouvoir absorbant de la face laquée blanc est quasiment identique à celui de la face laquée noir.

La fig. 3 montre que l'énergie rayonnée mesurée augmente linéairement avec la quatrième puissance de la température absolue. Les différentes faces du cube se comportent comme des corps gris dans la plage de température mesurée.

© by Leybold Didactic GmbH
Printed in the Federal Republic of Germany
Technical alterations reserved